

**SEMICONDUCTOR DEVICE****Publication number:** JP2000162658**Publication date:** 2000-06-16**Inventor:** ARNONE DONALD DOMINIC; SHIELDS ANDREW JAMES; CIESLA CRAIG MICHAEL; HOGG RICHARD ANDREW; WHITTAKER DAVID MARK; DAVIES ALEXANDER GILES; LINFIELD EDMUND H**Applicant:** TOSHIBA RES EUROP LTD**Classification:****- International:** G01N21/35; G02F1/35; G02F1/377; G02F1/39; H01S3/108; G01N21/31; G02F1/35; H01S3/108; (IPC-7): G02F1/377; G02F1/39**- European:** G01N21/35F; G02F1/35W9; G02F1/377Q; H01S3/108**Application number:** JP19990314136 19991104**Priority number(s):** GB19980024058 19981103**Also published as:**

GB2347756 (A)

GB2343964 (A)

**Report a data error here****Abstract of JP2000162658**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an optical device with which exit radiant light beams with a desirable frequency can be efficiently obtained. **SOLUTION:** This optical device is provided with an optical modulation region. The optical modulation region is provided with a phase-matching means 1 for the purpose of reinforcing phase-matching between such signals of two different frequencies, that propagate in the optical modulation region in response to irradiation by at least one incident radiant light beams 7, 8. The phase-matching means 1 is provided along the passage of the incident radiant beam 7, 8 with a spatial change 5 in the refractive index.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-162656

(P2000-162656A)

(43) 公開日 平成12年6月16日 (2000.6.16)

(51) Int.Cl.  
G 0 2 F 1/377  
1/39

識別記号

F I  
G 0 2 F 1/377  
1/39

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の第26 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平11-314136  
 (22) 出願日 平成11年11月4日 (1999.11.4)  
 (31) 優先権主張番号 9824058.3  
 (32) 優先日 平成10年11月3日 (1998.11.3)  
 (33) 優先権主張国 イギリス (GB)

(71) 出願人 59915:039  
 トーシバ・リサーチ・ヨーロッパ・リミテ  
 ッド  
 Toshiba Research Eu  
 rope Limited  
 イギリス国、シービー4 0ダブリュイ  
 ー、ケンブリッジ、ミルトン・ロード、ケ  
 ンブリッジ・サイエンス・パーク 280、  
 ケンブリッジ・リサーチ・ラボラトリー  
 (74) 代理人 100058479  
 弁理士 鈴江 武彦 (外4名)

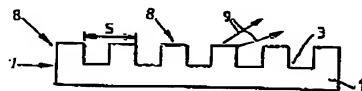
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体デバイス

## (57) 【要約】

【課題】望ましい周波数の出射放射光線が効率的に得ら  
 れる光学デバイスを提供する。

【解決手段】光学デバイスは、光学変調領域を有する。  
 光学変調領域は、少なくとも1つの入射放射光線ビーム  
 7、8による照射に 대응して光学変調領域内を伝播す  
 る、2つの異なる周波数の信号の間の位相整合を増強す  
 るための位相整合手段1を有する。位相整合手段1は、  
 入射放射光線ビーム7、8の通路に沿ってその屈折率に  
 おいて空間的変化を有する。



(2) 000-162656 (P2000-162656A)

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】光学変調領域を具備し、前記光学変調領域は、少なくとも1つの入射放射光線ビームによる照射に 대응して前記光学変調領域内に伝播する、少なくとも2つの異なる周波数の信号の間の位相整合を増強するための位相整合手段を具備し、前記位相整合手段は、前記入射放射光線ビームのある方向成分に沿ってその屈折率において空間的变化を有し、少なくとも2つの異なる周波数の信号が同位相を維持する前記変調領域内の距離を最大とするように構成される、ことを特徴とする光学デバイス。

【請求項2】前記変調領域は、前記少なくとも1つの入力ビームによる照射に 대응する周波数を持つ放射光線ビームを射出するための周波数変換手段を更に具備し、前記放射光線ビームは前記若しくは別の入射ビームと異なる周波数を有すること、前記位相整合手段は、前記若しくは別の入射ビーム及び前記放射光線ビームにより発生される偏光間の位相整合を増強すること、を特徴とする請求項1に記載の光学デバイス。

【請求項3】前記光学変調領域は、2つの入射ビーム間の周波数の差に実質的に等しい周波数のビームを射出するように構成されることを特徴とする請求項2に記載の光学デバイス。

【請求項4】前記デバイスは100GHz〜20THzの範囲の放射光線を出射するように構成されることを特徴とする請求項2または3に記載の光学デバイス。

【請求項5】前記光学変調領域は、2つの入射ビームの周波数の和に実質的に等しい周波数のビームを射出するように構成されることを特徴とする請求項2に記載の光学デバイス。

【請求項6】前記光学変調領域は、単一の入射ビームの周波数と異なる周波数のビームを射出するように構成されることを特徴とする請求項2に記載の光学デバイス。

【請求項7】前記光学変調領域は、単一の入射ビームの周波数の整数倍に実質的に等しい周波数のビームを射出するように構成されることを特徴とする請求項2に記載の光学デバイス。

【請求項8】前記変調領域は、第2入力ビームの照射に 応答して第1入力ビームの偏光ベクトルを回転させ、回転された偏光ベクトルのビームを射出するように構成されることを特徴とする請求項1に記載の光学デバイス。

【請求項9】前記位相整合手段の屈折率の変化は、前記若しくは他の入射ビームの成分と概ね平行であることを特徴とする請求項1乃至8のいずれかに記載の光学デバイス。

【請求項10】前記屈折率の変化は実質的に周期的であることを特徴とする請求項1乃至9のいずれかに記載の光学デバイス。

【請求項11】前記屈折率の周期的変化のピッチは100nm〜10μmの範囲であることを特徴とする請求項

10に記載の光学デバイス。

【請求項12】前記光学変調領域は半導体を具備することを特徴とする請求項1乃至11のいずれかに記載の光学デバイス。

【請求項13】前記光学変調領域は結晶を具備することを特徴とする請求項1乃至12のいずれかに記載の光学デバイス。

【請求項14】前記光学変調領域は、 $\text{LiIO}_3$ 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{ADP}$ 、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{KH}_2\text{AsO}_4$ 、石英、 $\text{AlPO}_4$ 、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{CdS}$ 、 $\text{GaP}$ 、 $\text{GaAs}$ 、 $\text{BaTiO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{Te}$ 、 $\text{Se}$ 、 $\text{ZnTe}$ 、 $\text{ZnSe}$ 、 $\text{Ba}_2\text{NaNb}_5\text{O}_{15}$ 、 $\text{AgAsS}_3$ 、淡紅鉍鉱、 $\text{CdSe}$ 、 $\text{CdGeAs}_2$ 、 $\text{AgGaSe}_2$ 、 $\text{AgSbS}_2$ 、 $\text{ZnS}$ 、 $\text{DAST}$  (4-ニメチルチル/シリウム)、及びSiから選択された1つ若しくは複数の材料を具備することを特徴とする請求項1乃至13のいずれかに記載の光学デバイス。

【請求項15】前記光学変調領域は導波路構造内に設けられることを特徴とする請求項1乃至14のいずれかに記載の光学デバイス。

【請求項16】前記光学変調領域は第1クラッド層及びコア層を具備することを特徴とする請求項1乃至15のいずれかに記載の光学デバイス。

【請求項17】前記光学変調領域は第2クラッド層を更に具備し、前記コア層は前記第1及び第2クラッド層間に挟まれることを特徴とする請求項16に記載の光学デバイス。

【請求項18】前記変調領域はビームの通路に形成された1つ若しくは複数の穴を有することを特徴とする請求項1乃至17のいずれかに記載の光学デバイス。

【請求項19】前記光学変調領域はクラッド層及びコア層を具備し、前記穴は前記クラッド層に形成されないことを特徴とする請求項18に記載の光学デバイス。

【請求項20】前記光学変調領域はクラッド層及びコア層を具備し、前記穴は前記クラッド層に形成されることを特徴とする請求項18に記載の光学デバイス。

【請求項21】前記入射放射光線のための光線源を更に具備することを特徴とする請求項1乃至20のいずれかに記載の光学デバイス。

【請求項22】前記光線源はダイオードレーザであることを特徴とする請求項21に記載の光学デバイス。

【請求項23】前記光線源として2つのダイオードレーザが配置されることを特徴とする請求項21に記載の光学デバイス。

【請求項24】前記光線源はパルスレーザであることを特徴とする請求項21に記載の光学デバイス。

【請求項25】前記光学変調領域はミラー共振器内に設けられることを特徴とする請求項1乃至24のいずれかに記載の光学デバイス。

【請求項26】前記少なくとも1つの入射放射光線ビー

(13) 000-162656 (P2000-162656A)

ムはレーザ共振器内で生成され、前記光学変調領域は前記共振器内に配設されることを特徴とする請求項1乃至25のいずれかに記載の光学デバイス。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は光学デバイスの分野に関する。より具体的には、本発明は所与の周波数の時しくは周波数バンド内の放射ビームを発生させるために使用される光学デバイスに関する。

##### 【0002】

【従来の技術】幾つかの商業的に重要な波長バンドにお

$$P = \alpha_1 E + \alpha_2 E^2 + \alpha_3 E^3 \dots$$

通常、高次の項は無視できるほど小さいと仮定され、 $P \propto E$ という関係が使用される。この近似は大きなEには適用されない。非線形光学はこれらの高次の項に関連する。

【0004】もし、材料が2つの異なる周波数で照射されると、入力周波数 $\omega$ と(和周波発生として知られる)、入力周波数の差(差周波発生として知られる)である周波数を材料が放射することを第2次項が可能とする。第2次感受性はまた、材料が単一入力周波数で照射された時、異なる光学周波数の発生をもたらす。例えば、第2高調波発生が自己和発生からもたらされる。光学パラメトリック変換において、2つの周波数が入力周波数から発生される。

【0005】更に、第3次項 $\alpha_3 E^3$ もまた、第3高調波周波数及び他の第3次項を生成するように励起可能となる。

##### 【0006】

【発明が解決しようとする課題】このような構造において生じるこの問題は、望ましい周波数の放射放射光線を効率的に得るため、入射放射光線により誘発される偏光の位相が、望ましい放射放射光線の位相とできるだけ近づくように整合する必要があることである。

【0007】この位相整合問題はまた、第2周波数のビームによって励起する第1周波数の参照ビームの変化が第2周波数のビームの測定に使用される、特定な型式の検出器においても生じる。

【0008】ある材料は、屈折率特性による位相整合を先天的にある程度有し、従って、同材料の少なくともある長さに亘って位相整合が達成可能となる。しかし、位相整合がある程度可能とし、従って、材料を周波数コンバータとして完全に実現可能にする複屈折若しくは他の特性を有し且つ大きな光学非線形性を伴う材料は存在しない。

##### 【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は上述の問題に対処し、以下の構成を有する光学デバイスを提供する。即ち、本発明に係る光学デバイスは光学変調領域を具備し、前記光学変調領域は、少なくとも1つの入射放射光

いて電磁放射光線を生成する上で困難が生じる。例えば、それ等の範囲は、テラヘルツ (THz) 周波数範囲 (100 GHz ~ 20 THz)、近及び中赤外 (波長 = 1000 ~ 5000 nm) 及び青/紫外 (波長 400 ~ 450 nm) である。

【0003】このような周波数を生成する可能な方法は、非線形光学効果を使用することである。入射放射光線により誘発される材料内の偏光Pは、材料を励起する電界Eに関連して、べき級数として次のように表現可能となる。

##### (1)

線ビームによる照射にตอบสนองして前記光学変調領域内を伝播する、少なくとも2つの異なる周波数の信号の間の位相整合を増強するための位相整合手段を具備し、前記位相整合手段は、前記入射放射光線ビームのある方向成分に沿ってその屈折率において空間的变化を有し、少なくとも2つの異なる周波数の信号が同位相を維持する前記変調領域内の距離を最大とするように構成される。

【0010】上述の構成をより明確にすると、前記入射放射光線ビームのある成分はビームの方向成分である。

【0011】もし本発明が周波数変換のために使用される、前記光学変調領域は、望ましくは、前記少なくとも1つの入射放射光線ビームによる照射にตอบสนองして出射放射光線周波数のビームを出射するための周波数交換手段を具備し、前記位相整合手段は、前記若しくは別の入射ビーム及び前記出射ビームにより発生される偏光間の位相整合を増強する。前記出射ビームは前記入射ビームと異なる周波数を持つ。

【0012】前記入力放射光線の周波数を変換するた

め、多くの可能な機構が存在する。

【0013】新たな周波数が、いわゆる和若しくは差周波発生により、2つ以上の周波数の入射放射光線から発生されることが可能となる。

【0014】前記光学デバイスは、2つの周波数成分を有する放射光線で照射されるか、或いは異なる周波数の2つの放射光線ビームにより照射される。

【0015】パルスレーザにより得られるより高い電界は、非線形性を起こしやう、偏光の項の(漸進的に小さくなる)非線形性にアクセスすることを可能とする。

【0016】単一のパルスレーザで異なる2つの入射周波数を発生させることが望ましい。また、パルスレーザにより生成される放射光線パルスは、広範囲に亘る和若しくは差周波発生にとって理想的である、多数の異なる周波数を本質的に含む。

【0017】しかし、本発明により達成可能な位相整合の増強により、相対的に低い電界も使用可能で、従って、2つの周波数は、異なる周波数で駆動される2つのCWレーザにより提供可能となる。これ等は、パルスシステムのような高い電界を提供しない連続的なビームを

(4) 000-162656 (P2000-162656A)

提供するが、非線形効果を依然CWレーザにより起こすことが可能である。CWレーザはまた、パルスレーザに比べて、現在のところ、より適宜し且つ商業的に入手可能であるという利点を有する。

【0018】入射放射光線は、材料の第2次非線形性を介して、時間依存性の偏光を発生させる。この機構の単純化された見方は、スプリング上にある材料内の電子を想像することである。入射放射光線は、入射周波数、それ等の和及び差に対応する周波数で電子を振動させる。

【0019】どの周波数が出射されるかは、基本周波数における材料の非線形係数と、和・差周波数における発生/交換放射光線と非線形偏光との間の位相整合と、に依存する。

【0020】和周波発生において、位相整合条件は次式で与えられる。

$$\Delta k = k(\omega_1) + k(\omega_2) - k(\omega_3) = 0$$

ここで、 $\omega_1 + \omega_2 = \omega_3$  であり、また  $k(\omega)$  は周波数  $\omega$  における材料内の光の  $k$  (波数) ベクトルである。

【0021】差周波発生において、位相整合条件は次式で与えられる。

$$\Delta k = 0$$

$$\Delta k = k(\omega_1) - k(\omega_2) - k(\omega_3) = 0$$

ここで、 $\omega_1 - \omega_2 = \omega_3$  である。

【0023】N次高調波発生において、位相整合条件は次式で与えられる。

$$\Delta k = Nk(\omega_1) - k(\omega_2) = 0$$

ここで、 $N\omega_1 = \omega_2$  である。

【0024】光学パラメトリック発生において、位相整合条件は次式で与えられる。

$$\Delta k = k(\omega_1) - k(\omega_2) - k(\omega_3) = 0$$

ここで、 $\omega_1 = \omega_2 + \omega_3$  である。

【0025】発生された電界が駆動電界に対して位相外となる距離として考えることができるコヒーレンス長は次式のように定義される。

$$l_c = 2/\Delta k$$

材料の屈折率  $n$  は  $n = kc/\omega$  で定義され、ここで、 $c$  は真空中における光の速度である。多くの非線形材料の屈折率は周波数  $\omega$  と共に変化するため、コヒーレント長は典型的にはほんの数ミクロンである。本発明は、位相整合条件  $\Delta k = 0$  を満足するため、分散即ち  $\omega$  に伴う  $n$  の変化を変更する。

【0026】差周波発生技術を使用し、周波数  $\omega_{THz}$  のTHz放射光線が、2つの可視放射光線周波数  $\omega_{opt}$  から発生される場合を考える。入射放射光線の周波数間の差からTHz放射光線を発生させるための位相整合は次式で与えられる。

$$\Delta k = k(\omega_{opt} + \omega_{THz}) - k(\omega_{opt}) - k(\omega_{THz}) = 0$$

光誘起非線形偏光と、発生THz電界とが同一位相内にある距離の単位であるコヒーレント長  $l_c$  は次式で定義

される。

$$l_c = \pi c / (\omega_{THz} | \omega_{opt} - \omega_{THz} |)$$

ここで、 $\omega_{opt}$  は可視周波数における材料の屈折率であり、 $\omega_{THz}$  はTHz周波数における材料の屈折率である。

【0028】従って、効率的なTHz発生のために必要な長いコヒーレント長のためには、 $\omega_{opt} - \omega_{THz}$  は小さくなくてはならない。しかし、無損非線形光学材料は大きな屈折率のミスマッチを有し、従って、 $l_c$  は数ミクロンよりも大きくないであろう。

【0029】本発明は、異なる周波数における屈折率のこの変化を減少させることにより位相整合を増強する。

【0030】同様に、変調領域は、式(1)における第2次係数による2つの周波数の和がより効率的に出射されるように構成可能となる。代わりに、第2高調波も選択可能である。

【0031】光学パラメトリック発生によっても駆動可能である。この場合、光学デバイスは単一レーザで駆動される。

【0032】材料の非線形特性により、異なる周波数の2つのビームが出射可能となるか、若しくは第2高調波が出射可能となる。

【0033】2つの異なる周波数は運動量及びエネルギー保存により入力周波数と関係する。

【0034】上述のデバイスの入力光は1つ若しくは2つのダイオードレーザからの放射光線により供給される。従って、レーザ及び光学デバイスは単一チップ上に一体化可能となる。また、パルスレーザは周波数コンバータと共に単一チップ上に一体化可能となる。

【0035】上述の位相整合原理は検出器にも適用可能で、この場合、変調領域は、望ましくは、第2入力ビームの照射に対応して第1入力ビームの偏光ベクトルを回転させ、回転された偏光ベクトルのビームを出射するように構成される。

【0036】第1入力ビームは参照ビームとして考えることができ、第2ビームは検出されたビームである。検出器に入る前、参照ビーム及び検出ビームの偏光は、これ等が互いに平行で且つ変調領域の通常光軸及び異常光軸の両者に沿った成分を有するように、回転される。

【0037】参照ビーム及び検出ビームは、望ましくは、光学変調器に入る前に直接偏光される。しかし、これらの一方若しくは両者は円偏光も可能である。

【0038】変調領域は、検出されたビーム(もし存在すれば)が参照ビームの偏光がある角度回転させるように構成される。もし検出ビームが存在しなければ、参照ビームは、これが光学変調領域を通過する間、幾分偏円に偏光する可能性がある。この効果を補償するため、変調領域から出射されたビームは、望ましくは、光学修正回路に通される。

(5) 000-162656 (P2000-162656A)

【0039】望ましくは、光学修正回路は直線（若しくは楕円）偏光ビームを円偏光ビームに変換する。

【0040】出射された直線（若しくは楕円）偏光ビームは、望ましくは、1/4波長板により円偏光ビームに変換される。望ましくは、この円偏光ビームは、次に、円偏光放射光線を2つの直線成分に分割する偏光分波器（例えばウォラストンプリズム）に導入される。もし検出ビームが存在しない、これ等の直線成分は等しい。もし検出ビームが存在すると、これ等の直線成分は互いに等しくない。

【0041】望ましくは、プリズムからの2つの出力ビームは、平衡化分割フォトダイオードアセンブリに入射され、これは、2つのビーム間で大ききの相違がある場合、非ゼロ出力信号を生成する。

【0042】代わりに、参照ビームは検出器へ入る前に円偏光化が可能である。これは、参照ビームが検出器に到達する前の参照ビームの通路に、1/4波長板を配設することにより達成可能となる。検出されたビーム（もし存在すれば）、円偏光化された参照ビームを楕円偏光ビームに変える。楕円偏光ビームは次に、上述のウォラストンプリズム等により2つの成分に分離される。

【0043】本発明の光学デバイスは、従って、放射光線の発生及び放射光線の検出の両者に使用可能となる。従って、本発明を像形成のための光線源（ジェネレータ：周波数コンパタ型の）として使用すると共に、本発明を画像情報を含む光を検出する検出器として使用することにより、撮像システムが提供される。上述のジェネレータ及び検出器のいずれかを、周波数変換検出器若しくはジェネレータと夫々結合すると、撮像システムが構成可能であることは自明である。

【0044】望ましくは、ビームはジェネレータのための入力と検出器のための参照ビームとを形成するために分割される。像形成用放射光線は、サンプルを撮像するためにジェネレータにより生成される。画像情報を担持する放射光線は次に、参照ビームを使用する検出器により検出される。望ましくは、入力ビーム及び参照ビーム間の時間変化を提供する制御システムが配設される。

【0045】上述の機構のいずれかのための良好な非線形特性を有する可能な材料は、GaAs若しくはSi系半導体である。より望ましくは、結晶構造が使用される。以下に、他の可能な材料の例を示す。

【0046】 $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{ADP}$ ,  $\text{KH}_2\text{P}$ ,  $\text{O}_4$ ,  $\text{KH}_2\text{AsO}_4$ , 石英,  $\text{AlPO}_4$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{CdS}$ ,  $\text{GaP}$ ,  $\text{BaTiO}_3$ ,  $\text{LiTaO}_3$ ,  $\text{LiNbO}_3$ ,  $\text{Te}$ ,  $\text{Se}$ ,  $\text{ZnTe}$ ,  $\text{ZnSe}$ ,  $\text{Ba}_2\text{N}_2\text{Nb}_2\text{O}_{15}$ ,  $\text{AgAsS}_2$ , 濃緑銅鉱,  $\text{CdSe}$ ,  $\text{CdTe}$ ,  $\text{As}_2\text{S}_3$ ,  $\text{AgGaS}_2$ ,  $\text{AgSbS}_2$ ,  $\text{ZnS}$ , 及び  $\text{DAST}$  (4-N-メチルサチルバノリウム) 等の有機結晶。

【0047】一般的に、非中心対称結晶が第2次効果の

ために使用される。第3次効果は、種々の結晶において様々な強度で現出される。

【0048】望ましくは、このような構造が、入力ビーム周波数の少なくとも1つで駆動される導波路内に配置される。この導波路は、単一クラッド層及びコア層か、2つのクラッド層間に挟まれたコア層のいずれでも実現可能となる。例えば、 $\text{AlGaAs}$  クラッド層間に挟まれた  $\text{GaAs}$  層が使用される。

【0049】理想的には、材料はその屈折率に周期的変化を有する。屈折率は、望ましくは  $1.00\text{nm} \sim 10\mu\text{m}$ 、より望ましくは  $0.5\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$  の間のピッチで変化する。

【0050】屈折率の変化は多くの方法により達成可能となる。単純な方法は、屈折率の局部的変化がビームの通路内で引起こされるように、非線形光学材料内に単に複数の穴をエッチングすることである。

【0051】これ等の穴は、コア層内だけ、或いは両クラッド層の一方若しくは両方内及びコア層内、或いはコア層内ではなく、両クラッド層の一方若しくは両方内に形成可能である。より複雑な構造では、異なる屈折率の2つの材料、例えば、 $\text{GaAs}$  及び  $\text{AlGaAs}$ 、を使用することができる。第1屈折率の第1材料はその内部に形成された穴若しくはスロットを有し、第1材料と異なる屈折率を有する第2材料は第1材料の穴若しくはスロットを埋める。

【0052】屈折率の変化は、屈折率が変化若しくは変動される方向に沿った方向の波数成分のベクトル（運動量方向）の変化を引起こす。

【0053】しかし、実際は、ビームの波数ベクトルが最大の効果を得るために屈折率が変化する方向と平行となるように、変調領域の入力表面に対してビームを直角に配向すべきである。或いは、ビームは入力表面に対してある角度で、例えば45度で入射も可能である。この場合、入力ビームの波数ベクトルの方向成分は、屈折率の変化が生じる方向に対して平行な方向のみである。

【0054】このような構造は、再成長、イオンビームインプラントレーション、イオンビームリソグラフィ、及び標準リソグラフィパターニング技術により達成可能となる。望ましくは、上記構造には異なる屈折率の領域間にスミーズな境界が配設される。

【0055】場合によっては、単数若しくは複数の入射ビームを供給するための光線源を光学変調領域と一体化することが望ましい。この光線源は、和及び差周波発生のための2つのCW光線源、若しくはパルスレーザ光線源、若しくは単一CW光線源（パラメトリック発生若しくは第2高調波発生において）とすることができる。

【0056】光学変調領域は、鏡で構成された共振器内に配設可能となる。更に、少なくとも1つの入射放射光線ビームがレーザ共振器内で生成され、光学変調領域がこの共振器内に配設されるようにすることが可能であ

(6) 000-162656 (P2000-162656A)

る。

【0057】第2の視点において、本発明は以下の構成を有する放射光線源を提供する。即ち、本発明に係る放射光線源は、1つ若しくは複数の入力ビームによる照射に応じて放射光線ビームを出力するための周波数交換部材具備し、前記出力されたビームは前記1つ若しくは複数の入力ビームと異なる周波数を有し、前記1つ若しくは複数の入力ビームは全てレーザ共振器内で生成され、前記周波数交換部材は前記レーザ共振器内に配設される。

【0058】前記周波数交換部材は、光学変調領域を参照して前述された周波数交換手段を有する。望ましくは、前記周波数交換部材は、2つの入力ビーム間の周波数の差に実質的に等しい周波数のビームを出力するように構成される。より望ましくは、前記周波数交換部材は、THz周波数範囲（即ち100GHz〜20THz）の放射光線を出力するように構成される。

【0059】前記レーザ共振器はパルスレーザのレーザ共振器とすることができ、また、前記レーザ共振器は1つ若しくは複数のCWレーザ光線源のレーザ共振器、例えば固体レーザーとすることができる。

【0060】

【発明の実施の形態】図1は本発明の位相整合から得られる4つの発生プロセスを概念的に示す図である。

【0061】図1(a)は和周波発生を示す。2つの入力周波数 $\omega_1$ 、 $\omega_2$ が合算されて周波数 $\omega_3$ を発生させるように、 $\omega_1$ 、 $\omega_2$ が大きな第2次感受性( $\chi_2$ )を有する材料に入射される。ここで、 $\omega_1 + \omega_2 = \omega_3$ である。

【0062】図1(b)は差周波発生を示す。ここで、入射周波数 $\omega_1$ 、 $\omega_2$ が減算されて周波数 $\omega_3$ を発生させる。ここで、 $\omega_1 - \omega_2 = \omega_3$ である。

【0063】図1(c)は第2高調波発生を示す。ここで、1つの入力周波数 $\omega_1$ が存在し、発生された周波数は $\omega_1$ の2倍である。即ち、 $\omega_1 + \omega_1 = \omega_3$ である。

【0064】図1(d)は光学パラメトリック発生を示す。ここで、単一入力周波数 $\omega_1$ が2つの出力周波数 $\omega_2$ 、 $\omega_3$ を発生させる。ここで、 $\omega_1 = \omega_2 + \omega_3$ である。

【0065】図2において、実線は、面内波数ベクトルの関数としてプロットされた、GaAsコア層及びAl<sub>0.23</sub>Ga<sub>0.77</sub>Asクラッド層を有する導波路構造における光子について計算された分散曲線（周波数 $\omega$ 対波数 $k$ ）である。格子の周期性は波数 $k$ の境界を作り出し、ここで分散曲線が折返される。これは、もし、出射放射光線（この場合THz）光線の傾斜と等しい傾斜を有する線により、図上の対応する点が接続されるとすると、一對の光学モードのために位相整合条件が満足されることを可能とする。この構成は、モードのどの組み合わせが動的に可能であるかを示す。出射THz放射光線の

強度は、初期及び最終状態間の移行マトリックスにより制御され、同マトリックスは、一方、光バンドギャップにより導入される混合の程度に依存する。変調が強くなるほど、THz出射の効率が高くなる。

【0066】破線はTHz放射光線を励起するのに使用可能な他のモードを示す。異なる光学モードが、面内波数ベクトルに整合するように、或いはへきかいエッジにおいて直接結合するように、異なる入射角で構造を照射することにより励起可能である。

【0067】以下において、本発明は可視光分散曲線を使用し記載するが、位相整合条件が満足されるように、ゾーンの境界でTHz分散曲線が折返される場合、逆もまた可能であることに留意すべきである。

【0068】図3は本発明の位相整合を達成する単純な構造を示す。GaAsウェハ1がエッチビット3を形成するようにエッチングされる。エッチビットは非充填状態で残される。可視周波数及びTHz周波数の両者において、空気はGaAsよりも低い屈折率を有する。

【0069】構造5のビットは1.5 $\mu$ mで、ビットは深さ1 $\mu$ m、幅1 $\mu$ mとなるようにエッチングされる。

【0070】放射光線はサイド7から入射される。これは、構造の正確な構成に依存して、THz若しくは青の放射光線9の出力を可能とする。放射光線はまた、構造に対して角度をもって入射(8)され、サンプルのエッジで若しくは頂面を通してのいずれかで侵入することが可能となる。これはまた、図4乃至図11及び図14乃至図18図示の構造にも適用される。屈折率の変化方向と平行な運動量波数ベクトル $k$ の方向成分がある時、位相整合が生じる。

【0071】レーザ放射光線源はT1：サファイアレーザで、これは、典型的には、パルス幅50fs及び反復率82MHzで、900nm〜350nmの範囲の波長を生成する。他のタイプのレーザも使用可能で、例えば、エルビウム添加ファイバレーザのようなパルスレーザや、半導体パルスレーザが使用可能となる。僅かに異なる周波数で駆動される2つのCW半導体ダイオードレーザもまた使用可能である。

【0072】一般的には、第2次高調波発生を励起するように中心非対象であれば、いかなる結晶も使用可能である。例えば、次の材料が使用可能である。LiIO<sub>3</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>、ADP、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>、KH<sub>2</sub>AsO<sub>4</sub>、石英、AlPO<sub>3</sub>、ZnO、CdS、GaP、GaAs、BaTiO<sub>3</sub>、LiTaO<sub>3</sub>、LiNbO<sub>3</sub>、Te、Se、ZnTe、ZnSe、Ba<sub>2</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>7</sub>、O<sub>10</sub>、AgAsS<sub>2</sub>、碲化銀、CdSe、CdGeAs<sub>2</sub>、AgGaSe<sub>2</sub>、AgSbS<sub>3</sub>、ZnS、及びDAST(4-N-メチルスチルベンジウム)等の有機結晶。

【0073】図4はクラッド層が配設される点を除いて図3と類似する構造を示す。GaAs基板13の上面上

(7) 000-162656 (P2000-162656A)

に  $Al_{0.33}Ga_{0.67}As$  クラッド層 11 が形成される。クラッド層 11 上に  $400\text{nm}$  の  $GaAs$  層 15 が形成される。次に、 $GaAs$  層 15 がエッチングされ、 $200\text{nm}$  の深さのエッチビット 17 が形成される。構造 19 のピッチはここでも  $1.5\mu\text{m}$  である。入射放射光線 21 がクラッド層 11 により光学的に閉じ込められる。【0074】図 5 は図 4 と類似する  $GaAs$  基板 13 及び  $Al_{0.33}Ga_{0.67}As$  クラッド層 11 を有する構造を示す。ここで、 $GaAs$  層 23 が形成され、また、 $GaAs$  層 23 の上面上に  $Al_{0.33}Ga_{0.67}As$  クラッド層 25 が形成される。次に、 $GaAs$  層 25 の一部がエッチングにより完全に除去され、 $AlGaAs$  の島の列が形成される。

【0075】 $GaAs$  コア層 23 に入射放射光線 27 が主に閉じ込められる。しかし、境界の小さなしかし重要な部分が、 $AlGaAs$  キャップクラッド層 25 内にも存在する。従って、 $AlGaAs$  キャップクラッド層 25 の屈折率の変化が、可視光子の運動量に影響し、従って位相整合を増強する。

【0076】図 6 において、 $GaAs$  基板 33 の上面上に  $Al_{0.33}Ga_{0.67}As$  層 31 が形成される。層 31 の上面上に  $Al_{0.12}Ga_{0.88}As$  クラッド層 35 が形成される。幅  $1\mu\text{m}$  のエッチビットが、層 35 を貫通し且つ層 31 に部分的に侵入するように形成される。構造のピッチはここでも  $1.5\mu\text{m}$  で、エッチビットの総計深さは  $1.4\mu\text{m}$  である。上層層 35 の幅は  $0.4\mu\text{m}$  である。

【0077】エッチビットは、ウェットエッチング、反応性イオンエッチング等により形成することができる。理想的には、エッチングは構造の平面に対して実質的に直角であり、これは、屈折率の大幅な差異を可能とし、従って、浅く傾いた側壁の構造に比べて、より良好な位相整合特性を有する。

【0078】図 7 は 2 方向における屈折率の変化を伴う構造を示す。 $GaAs$  基板 41 が一連の穴 43 によりエッチングされ、2 次元配列が形成される。穴の深さは  $1\mu\text{m}$  で、幅は  $1\mu\text{m}$  である。非充填穴は  $GaAs$  基板 41 よりも低い屈折率を有する。当然、この 2D 構造は図 4乃至図 6 示すの構造と共に使用することができる。

【0079】図 8 は屈折率の変化をもたらすように 2 つの材料を使用した構造の断面を示す。 $GaAs$  基板 51 の上面上に層 A 53 が形成される。層 A 53 の上面上に層 B 55 が形成される。層 B は、ウェットエッチング、反応性イオンエッチング等によりエッチングされ、深さ  $0.4\mu\text{m}$  のエッチビット 59 が形成される。次に、層 C 57 がエッチングされた層 B の上に再成長される。層 C 57 は形成されながら穴 59 を満たす。

【0080】多数の層組合せが層 A、B、C にとって可能となる。例えば、次のようなものである。

A:  $AlAs$   $AlSb$   $GaSb$   $Al$ ,

$Ga_{1-x}As$   
B:  $GaAs$   $InAs$   $InAs$   $Al_x$   
 $Ga_{1-x}As$   
C:  $AlAs$   $AlSb$   $GaSb$   $Al_x$   
 $Ga_{1-x}As$ ,  
A:  $InP$   $InP$   $Si$  (または  $SiGe$ )  
B:  $InGaAs$   $AlInAs$   $GaAs$   
C:  $InP$   $InP$   $Si$  (または  $SiGe$ )。  
典型的には  $x$  は、例えば、 $0.33$  以下とすることができ。

【0081】図 9 はイオンビームインプラントレーションにより作成可能な構造を示す。 $GaAs$  基板 61 上に層 A 63 が形成される。層 A 63 上に層 B 65 が形成される。次に、層 B 65 の領域 69 にイオン (例えば  $Ga^+$  イオン) が注入される。イオン注入は、バンドギャップに局部的に影響し、従って、屈折率の変化をもたらす。層 B 65 の上に層 C 71 が形成される。層 A、B、C に可能な層構成は図 8 に関連して与えられている。

【0082】図 8 及び図 9 図示の構造は、図 7 図示のタイプの 2D 変調構造へ応用することができる。

【0083】図 10 は基板 201 上に形成された集積デバイスを示す。半導体バルスレーザ 205 である光光源が基板 201 の上面 203 上に形成される。レーザは周波数成分  $\omega_1$  及び  $\omega_2$  を有するパルスビームを出力する。このビームは周波数コンバータ 207 に入力される。周波数コンバータ 207 には、図 3 乃至図 9 図示のような周波数変換及び位相整合手段が配設される。

【0084】周波数コンバータ 207 からの出力放射光線は、 $\omega_1 \pm \omega_2$  の周波数で出射される。

【0085】図 11 は図 10 と類似する配置を示すが、ここで、入力周波数は 2 つの CW レーザ、即ちレーザ 209 ( $\omega_1$  の周波数で放射光線を出射する) 及びレーザ 211 ( $\omega_2$  の周波数で放射光線を出射する) により提供される。

【0086】2 つの周波数成分は、図 10 に関して述べたように  $\omega_1$ 、 $\omega_2$  の周波数で放射光線を出射するように、周波数コンバータ 207 により組み合わせられる。

【0087】図 12 は 2 つの入力周波数の位相整合を必要とする検出成分を使用する検出システムを示す。検出システムは AC ポケルス効果を使用し、特に THz 放射光線の検出に有用となる。

【0088】参照ビームとして作用する可視光ビーム 221 が検出結晶 223 に入射する。参照ビーム 221 は直線偏光され、この偏光は検出結晶 223 の通常及び異常光軸に沿った成分を有するように配向される。これらの軸は、通常及び異常光軸に沿って夫々別の屈折率  $n_o$ 、及び  $n_e$  を有する。第 2 放射光線ビーム 225 がない場合、直線偏光参照ビーム 221 は、その偏光に無



(8) 000-162656 (P2000-162656A)

視できる程度の変化を伴って検出結晶223を通過する。ここで明確にしたい点は、偏光が回転される角度 $\theta$ が無視できる程度であることである。しかし、直線偏光ビームは僅かに楕円となることができる。この効果は光学回路227により補償される。

【0089】出射ビーム229は1/4波長板223を使用して円偏光ビーム223に変換される。次に、ウォラストンプリズム235（若しくは直交偏光成分を分離する等価のデバイス）により、これが2直線偏光ビームに戻され、偏光ビームの2つの異なる直線成分が平衡化分割フォトダイオード237へ指向される。平衡化分割フォトダイオード237は2つのダイオード間の出力の差がゼロとなるように平衡化される。

【0090】しかし、検出器223が、参照ビームだけでなく、第2次ビーム225（の場合、THz範囲の周波数のビーム）も検出すると、偏光が回転される角度 $\theta$ は無視できない程度となる。これは、THz電界が、 $n_x$ 、 $n_y$ の1つに沿って可視（基本）放射光線の屈折率を変更するからである。これは検出器223後の可視フィールドが楕円となることをもたらし、従って、プリズム235により分離された偏光成分は等しくなくなる。出力ダイオード間の電圧の差は検出電圧を出力する。

【0091】参照ビーム221及びTHzビーム225は、結晶を通過する間は同位相にあるべきである。そうでないと、偏光回転 $\theta$ が不明確となる。従って、検出結晶223は図3乃至図9を参照して述べたタイプの位相整合手段を有する。

【0092】図10及び図11の周波数変換システム及び図12の検出システムを使用した、THz適用に特に適した撮像システムが図13に示される。

【0093】入力ビームはパルスレーザ光線源241により提供される。ビームは部分反射ミラー若しくはビームスプリッタ243により分割され、THz信号を発生させるための入力ビーム245及び撮像用放射光線を検出するための参照ビーム247が提供される。入力ビーム245はシステム257により時間遅延される。

【0094】参照ビーム245は周波数変換ジェネレータ249若しくは光導電スイッチ等の他のジェネレータへ入力される。ジェネレータ249は、ZnTe結晶、若しくは適当な非線形係数を有する他の材料（例えば、 $\text{LiIO}_3$ 、 $\text{NH}_4\text{PO}_4$ 、 $\text{ADP}$ 、 $\text{KH}_2\text{P}_2\text{O}_8$ 、 $\text{KH}_2\text{AsO}_4$ 、石英、 $\text{AlPO}_4$ 、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{CdS}$ 、 $\text{GaP}$ 、 $\text{BaTiO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{Te}$ 、 $\text{Se}$ 、 $\text{ZnTe}$ 、 $\text{ZnSe}$ 、 $\text{Ba}_2\text{NaNbO}_6$ 、 $\text{AgAsS}_2$ 、 $\text{AgGaS}_2$ 、 $\text{AgSbS}_2$ 、 $\text{ZnS}$ 、及びDAST（4-N-メチルサルチルバリウム）等の有機結晶）からなる。提供されるサンプルはジェネレータ249上に設置されたX-Yステージ251上に設置さ

れる。撮像THzビーム253は参照ビーム247を伴って検出結晶255上に反射される。

【0095】検出器結晶255からの出射ビームは光学回路259（これは図11の光学回路227と同一である）に供給される。光学回路259からの出力は信号処理ユニット261に供給される。信号処理ユニット261は、入力ビーム245と参照ビーム247との間の遅延及び位相サンプリング251に対するステージ253の動作を制御する制御手段258とリンクする。

【0096】図14は光学パラメトリック発生、第2高調波発生、または和周波発生のために使用される位相整合材料（位相整合済み）を概念的に示す。導波路クラッド領域103が基板/バッファ層101上に形成される。導波路コア領域105が導波路クラッド領域103上に形成される。導波路コア領域105は導波路クラッド領域103よりも大きな有効屈折率を有するように選択され、光モードが導波路コア領域105に大幅に閉じ込められるようにする。導波路クラッド領域103及び導波路コア領域105は単一もしくは多量の層からなることができる。

【0097】導波路コア領域105は導波路クラッド領域103よりも大きな屈折率を有する。例えば、導波路クラッド領域103は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ （ $x=0$ 、3）からなり、導波路コア領域105は $\text{GaAs}$ からなることができる。導波路クラッド領域103は0.5〜1.0  $\mu\text{m}$ の厚さを有し、導波路コア領域105は0.2〜0.8  $\mu\text{m}$ の厚さを有することができる。他の例として、導波路クラッド層は1  $\mu\text{m}$ の $\text{SiO}_2$ からなり、導波路コアは0.4  $\mu\text{m}$ の $\text{Si}$ からなることができる。穴107が導波路コア領域105及び導波路クラッド領域103の両者に形成される。これ等の穴は、フォトリソグラフィ若しくは電子ビームリソグラフィと関連して、標準のドライエッチングにより形成することができる。

【0098】この構造の上には、エッチング後、導波路コア領域よりも小さい屈折率を有する誘電体材料の他の層（図示せず）を任意に配設することができる。

【0099】もし図14が光学パラメトリック発生用に構成されると、この構造は入射周波数 $\omega_1$ を照射され、 $\omega_1 = \omega_2 + \omega_3$ となるように、周波数 $\omega_2$ 及び $\omega_3$ の発生が導かれる。穴は、この構造内に、分散を変更することにより位相整合条件 $\Delta k = k(\omega_1) - k(\omega_2) - k(\omega_3) = 0$ を満足するように形成される。周波数 $\omega_1$ の光は、導波路に沿って伝播するように、導波路の側部の導波路領域上に集束させることができる。

【0100】位相整合条件はまた、効率的な第2高調波発生を生成するように変更することができる。この場合、単一周波数（ $\omega_1$ ）が構造に入射され、 $\omega_2 = 2\omega_1$ の発生が導かれる。もし位相整合条件 $\Delta k = 2k(\omega_1) - k(\omega_2) = 0$ が満足されると、これが効率的に

(9) 000-162656 (P2000-162656A)

達成される。

【0101】図15は図14と類似の構造を示し、ここで、上部クラッド領域109がコア領域上に配設される。これは単一若しくは多量の層からなることができる。上部クラッド領域109は下部クラッド領域105と同じ材料若しくは異なる材料からなることができる。いずれの場合も、これは導波路コア領域107よりも小さい屈折率を有するべきである。これにより、導波路のコア領域内での光学モードの閉じ込めを改良するという利点が得られる。図示の如く、穴は、上部クラッド領域109及びコア領域107を貫通し、下部クラッド領域105中へエッチングにより形成される、或いは、エッチングされた穴はコア領域107内若しくは上部クラッド領域109内で終端することができる。

【0102】非線形材料は、位相整合条件を達成するように多くの方法で調整することができる。例えば、入射放射光線の角度若しくは波長が変更可能である。或いは、非線形媒体の温度が変更可能となる。

【0103】図16及び図17は入力放射光線源113と一体化された位相整合領域111を示す。入力放射光線源113は公知のCW固体レーザダイオードとすることができる。代わりに、入力放射光線源はモードロック固体レーザダイオードとすることができる。モードロック固体レーザにおいて、放射光線は短パルス中に集中される。従って、位相整合材料（位相整合済み）内でより効率的な非線形周波数変換を生成するという利点が得られる。

【0104】図16において、ダイオード113からの光が受動導波路領域117により移送整合材料111へ指向される。分布帰還型半導体レーザダイオードとすることができるダイオードレーザと、位相整合材料とは、同じ導波路構造内に配設することが好都合である。ここで、構造は下部クラッド領域115上に形成される。レーザダイオード及び位相整合材料の活性領域は導波路領域のコア内に位置する。コア領域は上部クラッド領域119により覆われる。

【0105】図17は図16に類似するが、位相整合材料111とレーザダイオード113との間に導波路が存在しない。代わりに、リソグラフィ及びエッチングにより形成された2つの成分の間に空隙が存在する。レーザダイオードからの出力放射光線の位相整合材料への結合を最大化するため、これ等の分離は小さくするべきである。

【0106】図18は光学パラメトリック発振器の略図を示し、ここで、光学パラメトリック発生のために位相整合される非線形材料（401）の両側に夫々ミラー（403、405）が配置される。ミラー（403、405）は周波数 $\omega_1$ で高い反射率を有するように設計される。このデバイスにおいて、周波数 $\omega_2$ で光学フィールドの増強が存在する。ミラー（403、405）は非

線形材料（401）の端部を誘電体薄膜コーティングにより被覆することにより作成することができる。代わりに、ミラー（403、405）は他の光バンドギャップ材料を使用して作成することができる。

【0107】位相整合材料（401）（位相整合済み）はまた、図19に概略を示すように、共振器内即ちレーザ（402）の共振器内に配設することができる。この場合、ポンプ周波数 $\omega_1$ で利得を生成する材料、及び非線形材料の両者は、レーザ共振器の高反射ミラー（403、405）の内側に配置される。共振器ミラー（403、405）は、ポンプ周波数 $\omega_1$ 及び信号周波数 $\omega_2$ の両者を高度に反射するように設計される。従って、これ等は両周波数において強い発振フィールドを支持する。

【0108】図20は共振器内光学パラメトリック発振器の例を示し、ここで、光学パラメトリック発生のために位相整合（307）される非線形材料（305）の両側に夫々ミラー（301、303）が配置される。ミラー（301、303）は周波数 $\omega_1$ で高い反射率を有するように設計される。このデバイスにおいて、周波数 $\omega_2$ で光学フィールドの増強が存在する。ミラー（301、303）は非線形材料（305）の端部を誘電体薄膜コーティングにより被覆することにより作成することができる。代わりに、ミラー（301、303）は他の光バンドギャップ材料を使用して作成することができる。

【0109】図20図示のデバイスにおいて、図15及び図17に概略的に示されるように、同じ基板上で、位相整合領域が半導体レーザダイオードと集積される。このような集積構造は、作成及び組立てコストを低下させると共に、構造自体がよりコンパクトとなる。

【0110】図21乃至図23は前述の光バンドギャップ構造のためのバンド構造の計算結果を示す。図21乃至図23図示のバンド構造をモデル化に使用された計算結果は、空穴の格子を伴う半導体板を使用する新規な導波路のためのマックスウェルの方程式の正確な解答である。ここで、導波路の頂部及び底部に、このモデルを閉じ込める完全な反射ミラーが存在するものと仮定した。これは当然、導波路クラッド界面による閉じ込めがかなり弱い可能性もある、実際の導波路構造の正確なモデルではない。

【0111】この計算は、平面波基礎状態に代え、TE及びTM導波路モードが使用される点を除いて、Cassagane等による方法（Phys. Rev. B 53, 7134 (1996)）にかなり近く従う。z方向における厚さdの板のため、 $k = (k_x, k_y)$ を面内方向 $r = (x, y)$ における波ベクトルとして採用し、 $q = \pi/d$ として、これ等のモードは次式で与えられる。

【0112】

【数11】

(附0)000-162656(P2000-162656A)

$$H_{\pm}^1(r, z) = (q^2 + k^2)^{-1/2} (q^2 \cos qz - ikz \sin qz) \exp(ikz)$$

$$H_{\pm}^2(r, z) = (\tilde{k} \times \tilde{z} \cos qz) \exp(ikz)$$

【0113】同じ結果が、波ベクトルに対する軸成分  $\eta$  を伴う平面波を使用するだけで得られる。適切な導波路モードの利点は、計算されたバンドを特徴づけるのに役

立つということである。

【0114】周期的なパターンニングにより、プリリエンゾーンにおける波ベクトルのためのフィールドが、逆格子ベクトル  $G$  により相違する波ベクトルを伴うこれらのモードの直線的な組合わせとして表現可能となる。

【0115】

【数2】

$$H(r, z) = \sum_G h_G^E H_E^{K+G}(r, z) + h_G^G H_G^{K+G}(r, z)$$

波動方程式は次にマトリックス方程式に換算される。

$$\sum_G \eta(G - G') H_{K+G-G'}^{\pm} \begin{pmatrix} h_E^G \\ h_G^G \end{pmatrix} = \frac{\omega^2}{c^2} \begin{pmatrix} h_E^G \\ h_G^G \end{pmatrix}$$

ここで、

$$\underline{H}_{k_1, k_2} = \begin{pmatrix} \sqrt{q^2 + k_1^2} \sqrt{q^2 + k_2^2} \hat{k}_1 \cdot \hat{k}_2 & q \sqrt{q^2 + k_1^2} (\hat{k}_1 \times \hat{k}_2) \cdot \hat{z} \\ -q \sqrt{q^2 + k_2^2} (\hat{k}_1 \times \hat{k}_2) \cdot \hat{z} & k_1 k_2 + q^2 \hat{k}_1 \cdot \hat{k}_2 \end{pmatrix}$$

また、 $\eta(G)$  は、誘電率  $\epsilon(r)$  の逆数のフーリエ変換である。誘電率  $\epsilon_b$  の

媒質内における内部誘電率  $\epsilon_a$  で且つ半径  $\rho$  の円形穴の場合、次式で表される。

$$\eta(G) = \begin{cases} (1 - \beta) \epsilon_a^{-1} + \beta \epsilon_b^{-1} & (G=0) \\ (\epsilon_a^{-1} - \epsilon_b^{-1}) J_0^2(G\rho) / G\rho & (G \neq 0) \end{cases}$$

ここで、 $\beta$  は穴により占有された格子単位セルの割合で、 $J_1(x)$  はベッセル関数である。

【0116】マトリックス方程式の解答は、逆格子ベクトル  $G$  の有限な組合わせからなる基礎内の標準数値対角行列により得られる。この解答は、プリリエンゾーンにおける主要な方向に沿った一連の  $k$  において得られる。

【0117】図21は  $G = \Lambda$  s 内の穴の三角格子のためのバンド構造を示す。格子定数は200 nmである。穴は半径54.6 nmの円形の穴である。フィルファクタは0.27である。外部屈折率は3.5で、内部屈折率は1.0である。図21のバルク計算結果は、特に、空導波路分散

$$E(k) \propto (q^2 + k^2)^{1/2}$$

が概ね放物線状であるところの、カットオフに近いと、導波路構造の理想モデルではなく、一カ、バルクの場合、これは直線的でカットオフが無い。

【0118】低エネルギーバンドの放物線形態は図22に

示され、これは、厚さ  $d = 400$  nmの導波路の存在を除いて図21と同じである。1 eVより上の、測定が行われた領域における2つの計算結果の相違はかなり小さく、概ね同じエネルギーで現れるギャップを伴う。これは、格子定数が導波路幅よりも小さく、従って、測定領域における非折り曲げ  $k$  値と比較して  $q$  はそれ程重要ではないからである。空導波路とバルク分散との間の相違はこのような大きな  $k$  において小さい。

【0119】もしバンドギャップが空導波路分散の放物線状部分へ移動可能であると、バンドギャップへのより大きな効果が可能になると信じられている。これを達成するため、放物線状部分を興味深いエネルギーへ移動させるようにガイド層の厚さは減少させることが必要で、また、逆格子ベクトルを小さくするように格子定数は減少させることが必要である。

【0120】図23は、導波路厚さ  $d = 130$  nmで、

(41) 00-162656 (P2000-162656A)

格子定数が1000nmの場合の典型的な結果を示す。  
図21及び図22と同様、フィルファクタは2.7%である。  
この構造では、約200meVの幅の完全なバンドギャップが存在する。

【0121】

【発明の効果】本発明によれば、望ましい周波数の出射放射光線が効率的に得られる光学デバイスを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】和周波発生、差周波発生、第2高調波発生、及び光学パラメトリック発生を示す概略図。

【図2】本発明の実施の形態に係る構造における可視光子の分散モードを示す概略図。

【図3】本発明の実施の形態に係る構造を示す概略図。

【図4】図3図示の構造と類似し且つ複数のクラッド層を有する構造を示す図。

【図5】図3図示の構造と類似し且つ複数のクラッド層を有する構造を示す図。

【図6】図3図示の構造と類似し且つ複数のクラッド層を有する構造を示す図。

【図7】2次元光学構造を示す図。

【図8】再成長を使用して作成した本発明の実施の形態を示す図。

【図9】イオンビームインプラネーションを使用して作成した本発明の実施の形態を示す図。

【図10】単一レーザ光線源を有する本発明の実施の形態を示す図。

【図11】2つのレーザ光線源を有する本発明の実施の形態を示す図。

【図12】本発明の光学デバイスを使用した検出システムを示す図。

【図13】本発明の光学デバイスを使用した撮像システムを示す図。

【図14】光学パラメトリック発生、和発生、または高調波発生のために使用される本発明の実施の形態を示す図。

【図15】光学パラメトリック発生、和調波発生、または高調波発生のために使用される本発明の実施の形態を示す図。

【図16】光学変調領域と一体化されたレーザ光線源を有する本発明の実施の形態を示す図。

【図17】図16図示の構造と類似するが導波路構成が異なる構造を示す図。

【図18】共振器内に配設された光学パラメトリック発振器を示す概略図。

【図19】駆動レーザと同じ共振器内に配設された光学パラメトリック発振器を示す概略図。

【図20】共振器内光学パラメトリック発振器を示す図。

【図21】「バルク」の場合のGaAs内の穴の三角格子のバンド構造の計算結果を示す図。

【図22】有限厚さの導波路が作成された場合のバンド構造の他の計算結果を示す図。

【図23】有限厚さの導波路の場合の更に他のバンド構造の計算結果を示す図。

【符号の説明】

1…GaAsウェハ

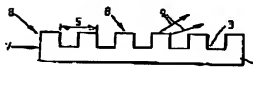
3…エッチビット

5…空間的変化構造

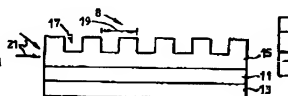
7、8…入射放射光線ビーム

9…出射放射光線

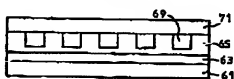
【図3】



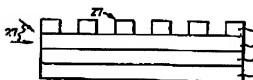
【図4】



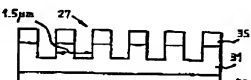
【図9】



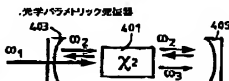
【図5】



【図6】

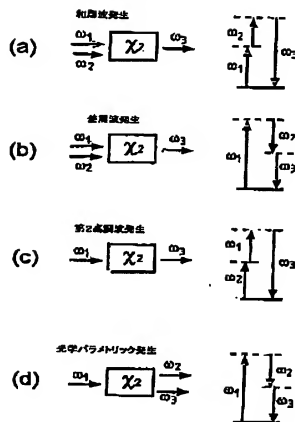


【図18】

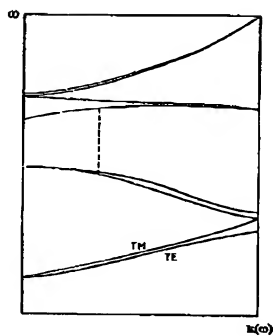


(N2) 00-162656 (P2000-162656A)

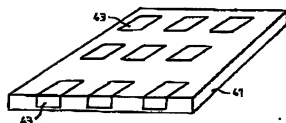
【図1】



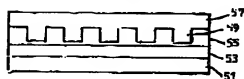
【図2】



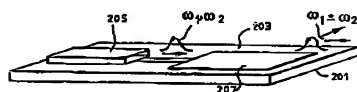
【図7】



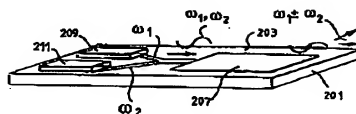
【図8】



【図10】

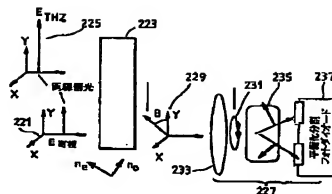


【図11】

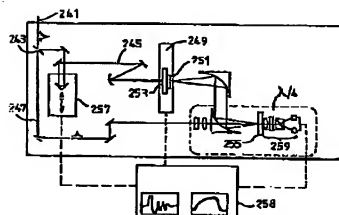


(413) 00-162656 (P2000-162656A)

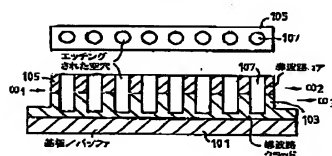
【図12】



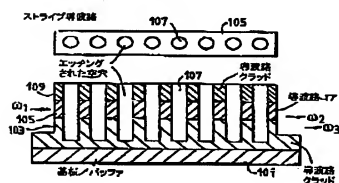
【図13】



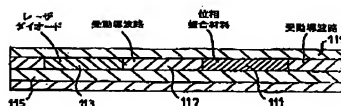
【図14】



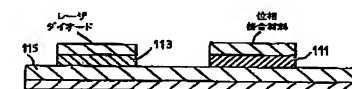
【図15】



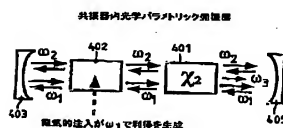
【図16】



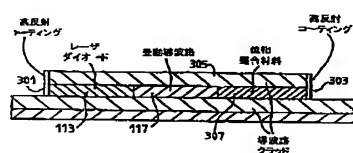
【図17】



【図19】

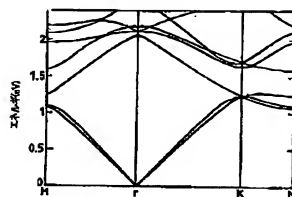


【図20】



(例4) 100-162656 (P2000-162656A)

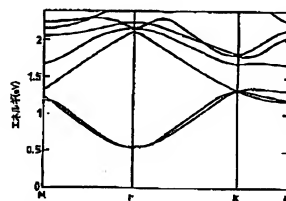
【図21】



六角格子  
 格子定数 = 200nm  
 内部穴  
 フィルファクタ = 0.37  
 穴半径 = 54.8nm  
 外部屈折率 = 3.5  
 内部屈折率 = 1.0  
 $n_1 < n_2$   
 $n_1 < n_2$



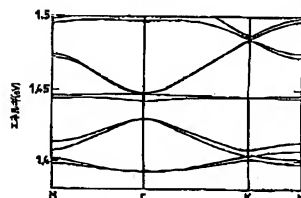
【図22】



六角格子  
 格子定数 = 200nm  
 内部穴  
 フィルファクタ = 0.37  
 穴半径 = 54.8nm  
 外部屈折率 = 3.5  
 内部屈折率 = 1.0  
 $n_1 < n_2$   
 $n_1 < n_2$



【図23】



六角格子  
 格子定数 = 1000nm  
 内部穴  
 フィルファクタ = 0.37  
 穴半径 = 272.8nm  
 外部屈折率 = 3.5  
 内部屈折率 = 1.0  
 $n_1 < n_2$   
 $n_1 < n_2$



(05) 000-162656 (P2000-162656A)

## フロントページの続き

- (72)発明者 ドナルド・ドミニク・アーノン  
イギリス国、シービー4 Oダブリュ  
ー、ケンブリッジ、ミルトン・ロード、ケ  
ンブリッジ・サイエンス・パーク 260  
ケンブリッジ・リサーチ・ラボラトリー  
トーシバ・リサーチ・ヨーロッパ・リミテ  
ッド内
- (72)発明者 アン德里ュー・ジュームズ・シールズ  
イギリス国、シービー4 Oダブリュ  
ー、ケンブリッジ、ミルトン・ロード、ケ  
ンブリッジ・サイエンス・パーク 260  
ケンブリッジ・リサーチ・ラボラトリー  
トーシバ・リサーチ・ヨーロッパ・リミテ  
ッド内
- (72)発明者 クライグ・マイケル・シーズラ  
イギリス国、シービー4 Oダブリュ  
ー、ケンブリッジ、ミルトン・ロード、ケ  
ンブリッジ・サイエンス・パーク 260  
ケンブリッジ・リサーチ・ラボラトリー  
トーシバ・リサーチ・ヨーロッパ・リミテ  
ッド内

- (72)発明者 リチャード・アンドリュー・ホグ  
イギリス国、シービー4 Oダブリュ  
ー、ケンブリッジ、ミルトン・ロード、ケ  
ンブリッジ・サイエンス・パーク 260  
ケンブリッジ・リサーチ・ラボラトリー  
トーシバ・リサーチ・ヨーロッパ・リミテ  
ッド内
- (72)発明者 デイビッド・マーク・ウィットテイカー  
イギリス国、シービー4 Oダブリュ  
ー、ケンブリッジ、ミルトン・ロード、ケ  
ンブリッジ・サイエンス・パーク 260  
ケンブリッジ・リサーチ・ラボラトリー  
トーシバ・リサーチ・ヨーロッパ・リミテ  
ッド内
- (72)発明者 アレクサンダー・ジルス・デイビーズ  
イギリス国、シービー3 Oエイチ  
ー、ケンブリッジ、メイディングレイ・ロー  
ド、ユニバーシティ・オブ・ケンブリ  
ッジ、ケバンディッシュ・ラボラトリー内  
エドモンド・ハロルド・リンフィールド  
イギリス国、シービー3 Oエイチ  
ー、ケンブリッジ、メイディングレイ・ロー  
ド、ユニバーシティ・オブ・ケンブリ  
ッジ、ケバンディッシュ・ラボラトリー内